

16.11.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 13 JAN 2005

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年11月13日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-384402
[ST. 10/C]: [JP2003-384402]

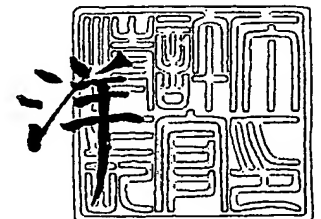
出 願 人
Applicant(s): 独立行政法人科学技術振興機構

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年12月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 B26P04
【提出日】 平成15年11月13日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 B25J 15/08
【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県つくば市竹園 3-102-103
 【氏名】 星野 聖
【特許出願人】
 【識別番号】 503360115
 【氏名又は名称】 独立行政法人科学技術振興機構
【代理人】
 【識別番号】 100091443
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 西浦 ▲嗣▼晴
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 076991
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0316143

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

動作指令に応じて動作するロボットの駆動方法であって、

ロボットに対応する動作物と、前記動作物に設けられて前記動作物の動きを検出する複数のセンサと、前記複数のセンサの出力に基づいて前記動作指令を発生する動作指令発生装置とを用い、前記動作物に所定の動作を行わせたときの前記複数のセンサの出力に基づいて前記動作指令発生装置が発生する前記動作指令を事前収集動作指令として記憶する第 1 のステップと、

前記動作物またはその擬似物に前記所定の動作と同じ動作をさせたときの前記動作物またはその擬似物の複数の画像データを時系列で取得する第 2 のステップと、

前記複数の画像データに含まれる画像データと前記事前収集動作指令とを対応付けて画像対応動作指令記憶手段に記憶する第 3 のステップと、

前記ロボットを動作させるために、前記動作物またはその擬似物に所望の動作を行わせ、その際に前記動作物またはその擬似物の画像データを時系列でロボット動作用画像データとして取得する第 4 のステップと、

前記ロボット動作用画像データに含まれる前記画像データに対応する画像データを前記画像対応動作指令記憶手段に記憶している前記複数の画像データから時系列で特定し、特定した前記画像データに対応する前記事前収集動作指令を前記動作指令として前記ロボットに与える第 5 のステップとからなるロボットの駆動方法。

【請求項 2】

前記擬似物はコンピュータグラフィック技術により作成されたものであり、前記擬似物の画像データはコンピュータグラフィック画像データである請求項 1 に記載のロボットの駆動方法。

【請求項 3】

前記第 3 のステップでは、時系列で取得した前の前記画像データと後の前記画像データとの間の未作成の画像データを前記コンピュータグラフィック技術により作成し、作成した画像データに対応する事前収集動作指令を前記前の画像データに対応する事前収集動作指令と前記後の前記画像データに対応する事前収集動作指令とに基づいて推定により作成して前記未作成の画像データと対応付けて記憶することを特徴とする請求項 2 に記載のロボットの駆動方法。

【請求項 4】

前記第 5 のステップでは、前記ロボット動作用画像データに含まれる前記画像データと前記画像対応動作指令記憶手段に記憶されている前記複数の画像データとの対応を両者の類似度に基づいて判断する請求項 1 に記載のロボットの駆動方法。

【請求項 5】

前記動作物は人間の手であり、

前記第 1 のステップでは、前記人間の手に装着するデータグローブが用いられ、前記データグローブはグローブ本体に前記ロボットの手の動作部に対応した人間の手の動作部の動きを検出する位置に前記複数のセンサが装着された構造を有していることを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの駆動方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】ロボットの駆動方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットの駆動方法に関するものであり、特にロボットを動作させるためにそのロボットに対応する動作物またはその擬似物に所望の動作を行わせ、その画像データと同じ動作をロボットに行わせるのに適したロボットの駆動方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、人の動作を見まねで再現できるロボットに関する技術としては、操作者がセンサを付けて歩行したり、操作者がデータグローブを手に嵌め、そのセンサの出力に基いてロボットを駆動している。これをリーチングと言い非特許文献1及び非特許文献2には、この種の技術が開示されている。

【非特許文献1】Y. Kuniyoshi 著の “A robotic approach to the foundation of communication and symbols” と題する論文: Proc. of 12th World Congress of Applied Linguistics (AILA'99), 94頁, 1999年発行

【非特許文献2】T. Inamura, Y. Nakamura, H. Ezaki 及び I. Toshima 著の “Imitation and primitive symbol acquisition of humanoids by the integrated mimesis loop” と題する論文: Proc. of Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2001), 4208頁-4213頁, 2001年発行

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、上記従来の技術では、多くの場合、不良設定性（センサの出力または認識によって正確に判別できない動き）がほとんど存在せず、解が一意に決まり、比較的容易にロボットを駆動することができる。しかしながら従来の方法では、常に、ロボットに対応する動作物またはその擬似物にセンサを装着しておく必要があり、汎用性に欠ける問題がある。

【0004】

本発明の目的は、実際にロボットを駆動する際に、ロボットに対応する動作物またはその擬似物にセンサを装着しておく必要のないロボットの駆動方法を提供することにある。

【0005】

本発明の他の目的は、画像データを入力データとしてロボットを駆動することを可能にするロボットの駆動方法を提供することにある。

【0006】

本発明の更に他の目的は、コンピュータグラフィック画像データを利用してロボットを駆動することが可能なロボットの駆動方法を提供することにある。

【0007】

本発明の更に他の目的は、見まね学習により不良設定性を解消してロボットを駆動する方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の方法では、以下の第1乃至第5のステップを実行することによりロボットを駆動する。第1のステップでは、ロボットに対応する動作物と、この動作物に設けられて動作物の動きを検出する複数のセンサと、これら複数のセンサの出力に基づいて動作指令を発生する動作指令発生装置とを用いる。そして動作物に所定の動作を行わせたときの複数

のセンサの出力に基づいて動作指令発生装置が発生する動作指令を事前収集動作指令として記憶する。ここで動作物とは、典型的には人間自体または人間の手や足等の動作する部位等であるが、動作物は人間以外の動物等でもよい。

【0009】

第2のステップでは、動作物またはその擬似物に所定の動作と同じ動作をさせたときの動作物またはその擬似物の複数の画像データを時系列で取得する。ここで「動作物またはその擬似物」における「動作物」とは第1のステップの動作物と同じものでもよいが、同様の形状及び構造を有し（言換えると、同じ場所に同じ関節があり）且つ同じ動作を行い得るものあれば別の動作物であってもよい。また「動作物またはその擬似物」における「その擬似物」とは、その動作物をコンピュータグラフィック技術等の擬似物生成技術を用いて作成したものや、その動作物の人形等である。複数の画像データを時系列で取得する方法または手法は、任意であり、単眼カメラ、両眼カメラのいずれにより撮影したものであってもよい。

【0010】

第3のステップでは、第2のステップで得た複数の画像データに含まれる各画像データと事前収集動作指令とを対応付けて画像対応動作指令記憶手段に記憶する。なお擬似物の画像データを用いる場合には、第3のステップで、実際に撮影した画像だけでなく、時系列で取得した前の画像データと後の画像データとの間の未作成の画像データをコンピュータグラフィック技術により作成する。作成した画像データに対応する事前収集動作指令を前の画像データに対応する事前収集動作指令と後の画像データに対応する事前収集動作指令とに基づいて推定により作成して未作成の画像データと対応付けて記憶することができる。このようにすれば、少ない画像データによりより多くの画像データと事前収集動作指令との対応データを得ることができ、基礎データ（画像データと事前収集動作指令とを対応付けたデータ）の収集が大幅に簡単になる。

【0011】

第4のステップでは、ロボットを動作させるために、動作物またはその擬似物に所望の動作を行わせ、その際に動作物またはその擬似物の画像データを時系列でロボット動作用画像データとして取得する。動作物にセンサを装着する必要はない。そして第5のステップでは、ロボット動作用画像データに含まれる画像データに対応する画像データを画像対応動作指令記憶手段に記憶している複数の画像データから時系列で特定する。なおロボット動作用画像データに含まれる画像データと画像対応動作指令記憶手段に記憶されている複数の画像データとの対応は、両者の類似度に基づいて判断することが好ましい。類似度の求め方は任意であり、特定の方法に限定されるものではない。そして第5のステップでは、特定した画像データに対応する事前収集動作指令を動作指令としてロボットに与える。

【0012】

なお人間型ロボットにおいて不良設定性が多いのは、手である。したがってロボットハンドの駆動に本発明を適用すると、従来よりも簡単にロボットハンドを駆動することができる。なおこの場合、動作物としては人間の手またはその擬似物が用いられることになる。そして第1のステップでは、人間の手に着用するデータグローブを用いる。このデータグローブは、グローブ本体にロボットの手の動作部に対応した人間の手の動作部の動きを検出する位置に複数のセンサが装着された構造を有している。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、実際にロボットを動かすために、ロボットに対応する動作物またはその擬似物の画像を得るだけで、センサを使用することなく、その動作物または擬似物と同じ動作を、見まね学習により不良設定性を解消してロボットに見まね動作させることができる。したがって本発明によれば、画像データを入力データとしてロボットを簡単に駆動することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下図面を参照して本発明の方法の実施の形態について説明する。

【0015】

なお実施の形態について説明する前に、本実施の形態で用いる技術の基礎について説明する。ロボットの上肢の制御には、少なくとも軌道選択、関節角度の組み合わせ、筋張力の組み合わせなどの不良設定問題があることが知られている (Y. Uno, K. Kawato 及び R. Suzuki 著の "Formation and control of optimal trajectory in human multi joint arm movement—minimum torque—change model" と題する論文: Biological Cybernetics, 61, pp. 89-101, 1989.)。一方、両眼あるいは単眼カメラによるヒト手指の3次元形状推定においても、手指の形状が複雑で自己遮蔽も多いため、認識における不良設定性が存在する。ところが、両方の不良設定性をもヒトは巧く解決して、複雑精緻な随意運動を実現している。経験則から言えば、自分自身の身体での運動経験、すなわち身体性 (R. Pfeiffer, "Dynamics, morphology, and materials in the emergence of cognition," In Advances in Artificial Intelligence, ed. W. Burgard, A. B. Cremers, and T. Christaller, Proc. KI-99, 23th Annual German Conference on Artificial Intelligence, 1999.) の存在が、認識における不良設定問題の重要な解決になっていると言うこともできる。

【0016】

そこで、発明者らは、認識と制御の両方における不良設定問題を同時に解決できる非常に有効な、場合によっては唯一の方法が、見まね学習であると考えて、人と同じような精度と処理速度で手指動作の再現が可能なロボットハンド・システムの開発を行った。

【0017】

以下、このシステムに基づいて本発明のロボットの駆動方法の実施の形態の一例を説明する。

【0018】

まず本実施の形態で用いる多指ロボットハンド (ロボット) の機構について説明する。図1は、発明者等が開発した本実施の形態で制御の対象とする公知の多指ロボットハンド1の平面図であり、図2は図1のロボットハンドの内部に配置されたアクチュエータ2 (エンコーダ内蔵型超小形モータ) の配置構成を示す図である。なおこの多指ロボットハンドの詳細は、特開2003-117873号公報に示されている。この多指ロボットハンド1の各関節の可動範囲は、親指の内外旋が 120° であり、内外転が 60° である。そして各5本指の屈曲、伸展は第2関節に連動して行われ、第2関節の可動範囲は 112° であり、第1関節はその $7/10$ 倍、第3関節は $5/7$ 倍となっている。指の開閉は薬指に連動して、人指し指、小指が動き、中指は動かない。また薬指の開閉可動範囲は 15° であり、人指し指はその $12.8/15$ 倍であり、小指は $31.3/1$ 倍となっている。これらの構成によって、拇指と小指の接触が可能になり人の手指の可動域を十分に実現できている。

【0019】

各関節のアクチュエータ2には、DCマイクロモータを使用している。各指の第2関節、拇指の内外旋、内外転部位と拇指以外の4指間の開閉 (アプダクション) 用に掌の内部にそれぞれアクチュエータ2が設置されている。各関節の制御は、図示しない制御用計算機からの指令を受けて動作し、内部にD/Aコンバータや、小型サーボモータ専用ドライバ (マイクロサーボ) が配置された駆動装置3を介して、各アクチュエータ2のモータにかかる電圧を変化させることで行う。各アクチュエータ2のモータには、インクリメンタルシャフトエンコーダが内蔵されている。このエンコーダの出力は、軸速度、回転方向の検出の他に、位置制御に使用できる。各関節の角度情報は、ギヤを介して分解能を挙げ

たエンコーダを介して図示しない制御用計算機にフィードバックされる機構を持っている。エンコーダ自体の分解能は16 [Pulse/Revolution] である。指の開閉部のエンコーダには減速比1/400のギアを介しており、換算分解能は6400 [Pulse/Revolution] となる。その他のエンコーダには減速比1/50のギアを介しており、換算分解能は800 [Pulse/Revolution] となる。

【0020】

多指ロボットハンドを有効に制御するためには、まず各アクチュエータの特性を把握しておく必要がある。そこで、ステップ状の入力指令（この場合アクチュエータ制御の指令電圧）をモータに与えて関節角度の応答特性を測った。結果の一例を図3A乃至図3Cに示し、指令電圧と関節角速度の関係を図4に示す。これらのグラフにより、指令電圧に対する角速度の関係が線形であることがわかる。

【0021】

この関係から各指の制御関数に用いるために傾き a_{ij} と切片 b_{ij} を求め以下の式を用いて制御関数とした。

【数1】

$$V(t) = \text{sgn}_j(a_{ij} \cdot |\dot{\theta}_d(t)| - b_{ij})$$

【0022】

ここで、 sgn_j は屈曲及び伸展時に1, -1の値をとる2値関数、 $V(t)$ は時刻 t における各関節への指令電圧値、 $\theta_d(t)$ は時系列角度指令値 θ の時刻 t における目標角速度、 i はロボットハンドの各関節に対応し、 j は屈曲・進展の状態を表す。

【0023】

しかし、この式だけでは角速度の大きさにより慣性力がかかりオーバーシュートが発生する。そこで角加速度に比例して指令電圧値を抑制・促進させる項を加えのが下記の式である。

【数2】

$$V(t) = \text{sgn}_j(a_{ij} \cdot (|\dot{\theta}_d(t)| - b_{ij}) + f(\ddot{\theta}_d(t)))$$

【0024】

上記式において、 $f()$ は予備実験により得られた慣性力抑制のための関数で2次関数の式である。このようにして求めた制御関数を用いサイン波、FM変調波の時系列角度変化指令を入力したときの追従結果を図5及び図6に示す。図5はサイン波入力に対する追従性能を示し、図6はサインFM変調波入力に対する追従性能を示す。これらの結果から、ゆっくりとした動作から比較的早い動作、変調波に対しても良好な追従特性が得られることが分かる。

【0025】

図7は、遠隔指令装置として使用するデータグローブ4の一例の概略構成を示す図である。このデータグローブ4には、手袋形の本体の関節部分を中心にして約16箇所位置に分散して位置センサが備えられた構成を有している。具体的には、Virtual technologies社製のcyberglove（商標）をデータグローブとして用いている。このデータグローブのセンサ5は、拇指を除く各指のMP（中手指節関節）、PIP（近位指節間関節）に一つずつ、拇指にはMP、PIP、DIP（遠位指節間関節）についており、また各指の間にあるアブダクションを計測するセンサと掌の中央のセンサとで計16ヶ所に設置されている各センサ5はそれぞれ歪曲（ひずみ）度を数値化して60～80Hzで出力する仕様を有している。掌の中央に設置されているセンサ5は掌全体

の歪曲度を計測するものであり、対する人型ロボットハンドにはその機構は備わっていないため、この実施の形態では、この中央のセンサ 5 は使用しない。

【0026】

本実施の形態で用いる多指ロボットハンド制御方法及び装置は、人の手指動作を操作者が手に装着したデータグローブによりデータ化し、これを計算機に取り込んで多指型ロボットハンドの制御指令値に変換し、データグローブを装着した操作者の手の動作と同様の動作をロボットハンドで実現させる。

【0027】

データグローブによるロボットハンドの制御法においてもっとも単純な方法としては、サイバングローブから出力されるデータを 3 次元座標位置に変換しロボットハンドの関節と対になる部分の角度情報を時系列で取り出し、それをロボットハンドに実行させて、ロボットハンドを動作させるという手段がある。しかし、この方法を用いるとデータグローブの各センサから出力される 16 個の値がそれぞれ各関節の X 座標、Y 座標、Z 座標、ピッチ角、ヨー角、ロール角に変換され、一単位時刻あたり 100 ものデータが生成されることとなり、これからロボットハンドの動作に必要な 8 関節分のデータを抽出して使用することは計算効率や時間効率を考える面からも最適ではない。

【0028】

人手指は拇指を除く四指に至って、他の四指の影響を少なからず受ける。その特徴を定量的に表すこともこの制御方法及び装置において重要であると考えられる。そこでデータグローブで得られるデータからロボットハンド制御用の指令値への変換式に本発明の実施の形態では、重回帰式を用いる。

【0029】

ロボットハンドの各関節に対し重回帰式を立てるためにはまず重回帰分析を行い偏回帰係数を求める必要がある。そこで重回帰分析用のデータを取得するためにデータグローブ装着者は予め定めた時系列関節角度パターンに従って関節角度指令値を駆動装置 3 に入力して、ロボットハンドを動作させる。なお駆動装置 3 に指令を与える制御装置は、ロボットハンド 1 にあらかじめ重回帰分析に有効な動作を行わせる予め定めた時系列関節角度パターンの関節角度指令値を記憶している。そしてこのロボットハンドの動作に従い即ち倣って、データグローブを装着した操作者には、データグローブを装着した手において、指の屈伸、アプダクション等の動作を事前に行ってもらふ。本発明では、このようにして計測したデータグローブ 4 の出力と計測に用いたロボットハンドの時系列関節角度パターンとを重回帰分析にかけ、各関節ごとの偏回帰係数を導き出す。下記の式は本実施の形態で用いる重回帰分析に用いる式である。

【数 3】

$$(C_n, b_{n0}, \dots, b_{n14}) = f(y_n(t), x_0(t), x_1(t), \dots, x_{14}(t))$$

【0030】

上記式において、 $f()$ の式は最小二乗法による重回帰分析を行う関数であり、 $y_n(t)$ はロボットハンドの時系列関節角度パターンであり、 $x_0(t)$, $x_1(t)$, ..., $x_j(t)$ はデータグローブ 4 から出力された値であり、 b_{nj} は偏回帰係数、 C_n は定数を示す。 n はロボットハンドの各関節に対応し、関節数分 8 つの重回帰分析を行うことを意味する。

【0031】

ロボットハンド 1 の制御対象の各関節一つに対して下記式を立てる。

【数 4】

$$\theta_d(t) = C_n + \sum b_{nj} x_{nj}(t)$$

【0032】

ここで、説明変数 x_n , j はデータグロブ 4 からの出力値、目的変数 θ_d はロボットハンド 1 での制御対象となる関節各度の指令値である。この重回帰式で出される値はデータグロブ 4 での各指の関節角度の値であるので、この値をロボットハンドの角度指令値として制御を行えばよいことになる。

【0033】

図 8 には、事前収集動作指令を得る際に用いる多指ロボットハンドの制御装置と本発明のロボットを駆動方法を用いてロボットハンドを駆動する装置の構成の一例の概略構成を示してある。図 8 に示した動作指令を事前に収集する際に用いる制御装置では、関節角度を指示する関節角度指令値 y に応じて動作するアクチュエータを備えた k 個 (k は正の整数) の関節を有する多指ロボットハンド 1 を制御するものとする。そしてデータグロブ 4 は、操作者の手に装着されて操作者の手の動きに応じて n 個 (n は正の整数) の出力信号 x_n を出力する遠隔指令装置を構成している。この多指ロボットハンドの制御装置は、対応関係決定手段 6 と制御信号発生手段 7 とを備えている。対応関係決定手段 6 は、 k 個の関節のための k 個の関節角度指令値 y それぞれについて、各関節角度指令値 y と n 個の出力信号 x_n との間の対応関係を予め定めるように構成されている。具体的には、対応関係決定手段 6 は、時系列関節角度パターン記憶手段 6 1 と、サンプリング手段 6 2 と、偏回帰係数導出手段 6 3 と、重回帰式決定手段 6 4 とを備えている。

【0034】

サンプリング手段 6 3 は、 k 個の関節 (実際にはアクチュエータ 2) にそれぞれ予め定めた時系列関節角度パターン記憶手段 6 1 に記憶した時系列関節角度パターンに従って関節角度指令値を入力して多指ロボットハンド 1 を動作させた状態において、多指ロボットハンド 1 の動きに倣うように操作者がデータグロブ 4 を操作したときに n 個の出力信号 x_n を時系列で m 回 (m は n より大きい正の整数) サンプリングする。サンプリング手段 6 2 はサンプリングを開始する前に時系列関節角度パターン記憶手段 6 1 に指令を与え、時系列関節角度パターン記憶手段 6 1 は駆動装置 3 に予め定めた関節角度指令値を出力する。なお時系列関節角度パターンは、 N 次元空間をまんべんなく動くような任意の関数指令を多指ロボットハンドの関節 (アクチュエータ) に与えるように構成するのが好ましい。駆動手段 3 は、これを受けて多指ロボットハンド 1 を動作させる。

【0035】

偏回帰係数導出手段 6 3 は、時系列関節角度パターン記憶手段 6 1 に記憶した時系列関節角度パターンと、サンプリング手段 6 2 から出力される m 回のサンプリングにより求めた m 組の n 個の出力信号 x_n とに基づいて重回帰分析を行い、 k 個の関節のそれぞれについて偏回帰係数を導出する。

【0036】

重回帰式決定手段 6 4、偏回帰係数導出手段 6 3 が定めた k 個の関節毎の偏回帰係数を用いて、 k 個の関節毎の関節角度指令値 y と n 個の出力信号 x_n との間の対応関係を定める k 個の重回帰式を決定する。

【0037】

そして制御信号発生手段 7 は、対応関係決定手段 6 の重回帰式決定手段 6 4 が求めた対応関係と n 個の出力信号 x_n とに基づいて、 k 個の関節角度指令値 y を求め、 k 個の関節角度指令値 y を示す制御信号 (動作指令) を多指ロボットハンドの k 個の関節を駆動するための駆動装置 3 に出力するように構成されている。この制御信号発生手段 7 は、重回帰式決定手段 6 4 が求めた k 個の重回帰式を対応関係として用い、 n 個の出力信号 x_n を入力として k 個の関節角度指令値 y を求める。これら k 個の関節角度指令値 y が動作指令と

なる。なおデータグローブ4の動きに応じて制御指令発生手段7からは処理速度に応じた時間間隔で動作指令が出力される。なお図8の例においては、対応関係決定手段6及び制御信号発生手段7により動作物（操作者の手）に所定の動作を行わせたときの複数のセンサの出力に基づいて動作指令を発生する動作指令発生装置が構成されている。

【0038】

重回帰式決定手段64で決定するデータグローブ4の出力と多指ロボットハンド1の関節角度との対応を示す重回帰式は以下のような形で記述することもできる。

【数5】

$$\text{HAND}_i = a_0[n] + \sum a_i[n] \cdot \text{GLOVE}_i[n]$$

【0039】

上記式においてHANDは、多指ロボットハンド関節値、aは偏回帰係数、GLOVE[n]はn自由度のデータグローブ出力、iは多指ロボットハンドの関節数である。なお上記式を用いる場合には、行が列より大きくなり優決定となる。そのため特異値分解を用いて最適解としての偏回帰係数を求めることが好ましい。

【0040】

図9は、図8の対応関係決定手段6の主要部をコンピュータを用いて実現する場合に用いるソフトウェアのアルゴリズムを示すフローチャートである。まずステップST1では、データグローブ4と時系列関節角度パターンのデータ対を獲得する。即ち多指ロボットハンド1の各関節可動域をまんべんなく動かすような関数を多指ロボットハンド1に与えて駆動し、多指ロボットハンド1に合わせて操作者の手指も同じ動作を行う。多指ロボットハンド1のある関節角度または関節角度指令値をyとし、n個のデータグローブ出力をX_nとすると、次式のように時刻1～mまでの時系列データが得られる。

【数6】

$$y_1 = a_{10} + a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1n}X_n$$

$$y_2 = a_{20} + a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2n}X_n$$

$$\vdots$$

$$y_m = a_{m0} + a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \cdots + a_{mn}X_n$$

【0041】

ただし上記式において、m>nである。また前提として、xにはシステム雑音、量子化誤差などの雑音が含まれるものとする。

【0042】

次にステップST2進んで、データ対をベクトルと行列の形式で表現すると、y=[H]xのように表現することができる。ただしこの式におけるy、x及び[H]は下記の通りである。

【数 7】

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad [H] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & & \cdots & \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{m1} & & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

【0043】

次にステップST3で、最小二乗法による解 x^- の推定を開始する。この推定の過程において、偏回帰係数が求められる。最小二乗法に用いる式は以下の式である。

【数 8】

$$x^- = ([H]^t [H])^{-1} [H]^t y$$

【0044】

次にステップST4から、ヤコビ法による $([H]^t [H])$ の計算を開始する。すなわち直交行列Pを使って $([H]^t [H]) (= [A])$ を簡単な形の類似行列[B]に変換する。言い換えれば、すなわち、 $[P]^{-1} [A] [P] = [B]$ を計算する。

【0045】

次にステップST5で、行列[A]の非対角要素のうちの絶対値最大のもの $a_{k1} (= a_{1k})$ を選ぶ。そして次にステップST6において、 $a_{kk} = a_{11} = \cos \theta$ 、 $a_{k1} = -\sin \theta$ 、 $a_{1k} = \sin \theta$ とする単位行列[P]を作る。

【0046】

次にステップST7へと進んでcと θ の値を決定する。 θ は、下記の行列により求める。

【数 9】

$$\theta = \left\{ \begin{array}{ll} 1/2 \arctan (2a_{k1} / (a_{kk} - a_{11})) & a_{kk} \neq a_{11} \\ \text{sign}(a_{k1}) \pi / 4 & a_{kk} = a_{11} \end{array} \right\}$$

【0047】

ただし、上記式において $k < 1$ である。

【0048】

次にステップST8へと進んで、 $[P]^t [A] [P]$ を計算して新しい[A]とする。次にステップST9で、行列[P]の積から固有ベクトルVを下記の式で求める。

【数 10】

$$V = [P]_{(m)}^t [P]_{(m-1)}^t \cdots [P]_{(2)}^t [P]_{(1)}^t$$

【0049】

ただし、上記式において $[P]_{(N)}^t$ はN回目の変換に用いた行列 $[P]$ である。

【0050】

次にステップST10へと進み、 $[A]$ のどの非対角要素も収束条件 < 0.0001 なら終了し、そうでなければステップST5へと戻る。ここで行列 $[B]$ の対角要素が固有値となる。

【0051】

次にステップST11へと進んで解に含まれる雑音を抑制する。ステップST12では、固有値 $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ を $(1/(\lambda_1 + \nu), 1/(\lambda_2 + \nu), \dots, 1/(\lambda_n + \nu))$ と置き換えて逆行列 $([H]^t [H])^{-1}$ を求める。

【0052】

但し $([H]^t [H])^{-1} = [U] [A]^{-1} [U]^t$ である。またベクトル u_i は $[H]^t [H]$ の固有ベクトルである。また $[U] = [u_1, u_2, \dots, u_N]$ である。更に $[A]^{-1}$ は下記のように表される。

【数 11】

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/(\lambda_1 + \nu) & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1/(\lambda_2 + \nu) & & & & \\ 0 & & \ddots & & & \\ \vdots & & & & & \\ 0 & & & \cdots & 1/(\lambda_N + \nu) \end{bmatrix}$$

【0053】

そしてステップST13で最小二乗法による解 x^- の推定を終了する。

【0054】

上記フローチャートのアルゴリズムに従えば、偏回帰係数を導出するために最小二乗法と特異値分解とを用いて重回帰分析を行うことになる。なお上記ステップST4～ST10までが特異値分解を実施しているステップである。

【0055】

図8と図10乃至図12を用いて、本発明の方法によりロボットハンドを駆動する実施の形態の一例の説明をする。本発明の実施の形態の第1のステップでは、事前収集動作指令記憶装置8が、データグローブ4を嵌めた手（動作物）に所定の動作を行わせたときのデータグローブ4の複数のセンサ5の出力に基づいて動作指令発生装置（6, 7）が発生する動作指令を事前収集動作指令として記憶する。この記憶動作をコンピュータを用いて実現する場合に用いるソフトウェアのアルゴリズムを図10に示す。

【0056】

第2のステップでは、図11に示すように、単眼カメラまたは両眼カメラ等からなるカメラ9によりデータグローブ4を手（動作物）に装着して事前収集動作指令を取得するときと同じ動作（所定の動作）を人の手Hで行う。そしてこのときの手（動作物）Hの画像データを時

系列で取得する。なおこの画像データの取得は、事前収集動作指令を取得するのと同時に行ってもよいが、後から行ってもよい。図11の例では、手Hで「ゲー」の形を作った状態の画像データを取り、この画像データに基づいてコンピュータグラフィック技術で手の擬似物の画像データPD1を作成する。そして手Hで「パー」の形を作った状態の画像データを取り、この画像データに基づいてコンピュータグラフィック技術で手の擬似物の画像データPDnを作成する。「ゲー」から「パー」まで変化するまでの間の過程の画像を実際に撮影してもよいが、図11のようにその間の画像をコンピュータグラフィック技術で作成してもよい。このようにして作成した画像データは、画像データ記憶装置10に記憶される。

【0057】

第3のステップでは、第2のステップで得た複数の画像データに含まれる各画像データと事前収集動作指令記憶装置8に記憶された事前収集動作指令とを対応付けて画像対応動作指令記憶手段11に記憶する。なお本例では、画像対応動作指令記憶手段11は、実際に撮影した画像だけでなく、時系列で取得した前の画像データPD1と後の画像データPDnとの間の未作成の画像データをコンピュータグラフィック技術により作成する場合には、作成した画像データに対応する事前収集動作指令を前の画像データPD1に対応する事前収集動作指令と後の画像データPDnに対応する事前収集動作指令とに基づいて推定により作成して未作成の画像データと対応付けて記憶することができる。このようにすれば、少ない画像データによりより多くの画像データと事前収集動作指令との対応データを得ることができ、基礎データ（画像データと事前収集動作指令とを対応付けたデータ）の収集が大幅に簡単になる。

【0058】

第1から第3までのステップは、ロボットハンドを駆動するための事前作業として実施される。なお5度刻みの精度の関節角度制御をロボットハンドの駆動において実現しようとする、1億個（20の7乗）程度の数の画像が必要となるが、上述のようにコンピュータグラフィック技術を用いれば、基礎データの収集は簡単になる。この場合に用いることができるCG編集ソフトウェアとしては「Poser 5（Curious Labs Incorporated製）」を使用することができる。このソフトウェアを用いれば、データグローブ出力から撮像した手指2次元画像と類似した理想的な手指CG画像を補間生成することができる。そして補間生成した画像データに対応する事前収集動作指令は、関節角度の線形補間により生成することができる。なお補間による手続きを用いて、1億個程度の基礎データ（対データ）を生成する場合、画像1枚あたりの手指CGのファイルサイズは5kB程度である。

【0059】

第4のステップ及び第5のステップは、実際にロボットハンドを駆動する際のステップである。第4のステップでは、ロボットハンドを動作させるために、手で所望の動作を行い。図8に示すように、その際の手の画像データをカメラ12を用いて時系列でロボット動作画像データとして取得する。このロボット動作画像データは、ロボット動作画像データ記憶装置13に記憶される。そして第5のステップでは、ロボット動作画像データに含まれる画像データに対応する画像データを画像対応動作指令記憶手段11に記憶している複数の画像データから時系列で特定する。この特定作業は、画像データ特定及び動作指令発生装置14で行う。この例では、ロボット動作画像データに含まれる画像データと画像対応動作指令記憶手段に記憶されている複数の画像データとの対応は、両者の類似度に基づいて判断する。類似度の求め方は任意である。そして第5のステップでは、特定した画像データに対応する事前収集動作指令を動作指令として駆動装置3に与え、駆動装置3の出力で多指ロボットハンドを駆動する。第4及び第5のステップの主要部をコンピュータ用いて実現する場合のソフトウェアのアルゴリズムは図12に示す通りである。

【0060】

画像データ特定及び動作指令発生装置14で行う画像データの特定の際に特徴量を抽出する技術として、例えば、高次局所自己相関関数を用いる特徴量抽出技術を利用すること

ができる。高次局所自己相関関数については、1993年発行の電総研研究報告、j957の126頁乃至140に「柔らかな情報処理のための統計的手法の応用に関する研究」と題する論文に詳しく説明されている。この場合には、画像対応動作指令記憶手段11に記憶する画像データを、ロボットハンドの自由度数8に対応した8次元空間内で分類する。すなわち、ジャンケンの「グー」の状態の時に状態を $s = \{0, 0, 0, \dots, 0\}$ とし、反対に、5指すべてを開いた「パー」の時に状態を $s = \{20, 20, 20, \dots, 20\}$ とし、それ以外の関節の屈伸状態を、それぞれ20段階で分類する。ただし、拇指以外の4指間の開閉 (abduction) のみ4段階とした。また、例外として、拇指を内側に握りしめた「グー」は状態 $S = \{-1, -1, -1, \dots, -1\}$ とする。手指2次元画像の特徴抽出には、高次局所自己相関関数を用いた。画面内の対象画像を $f(r)$ とすると、N次自己相関関数は変位方向 (a_1, a_2, \dots, a_n) に対して次式のように定義される。

【数12】

$$x_N(a_1, a_2, \dots, a_N) = \int f(r)f(r+a_1) \dots f(r+a_N)dr$$

【0061】

実証試験では、高次自己相関係数の次数Nを2とし、また変位方向を参照点 r の周りの局所的な 3×3 画素の領域に限定した。これより、平行移動による等価な特徴を除くと特徴Mの数は図13に示す25個になる。図13中の黒の四角は、局所パターンの対応する画素の位置に対応する。各特徴の計算は、局所パターンの対応する画素の値の積を全画素に対して足し合わせることで得られる。未知の画像が入力されると、同画像の高次局所自己相関が計算される。1時刻前の手指の推定状態 $s^{-1} = \{d^{-1}_1, d^{-1}_2, d^{-1}_3, \dots, d^{-1}_8\}$ と、2時刻前の推定状態 $s^{-2} = \{d^{-2}_1, d^{-2}_2, d^{-2}_3, \dots, d^{-2}_8\}$ と1時刻前の推定状態 s^{-1} の差分から求められるすべての d_1 から d_8 までの状態の組み合わせ $2^8 = 256$ パターンの手指CG画像を対象に、高次局所自己相関パターンの全比較を行い、最も類似したCG画像を選択し、現在の手指状態 $s = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_8\}$ とすればよい。

【0062】

上記の方法によれば、実際にロボットハンド1を動かすために、ロボットハンド1に対応する手の画像を得るだけで、センサを使用することなく、手の動きと同じ動作を、見まね学習により不良設定性を解消してロボットハンドに見まね動作させることができる。

【0063】

上記実施の形態では、第3のステップで実際に人の手の画像を撮影しているが、すべてコンピュータグラフィック技術により手の画像データ (手の擬似物の画像データ) を作成してもよいのは勿論である。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】発明者等が開発した本実施の形態で制御の対象とする公知の多指ロボットハンド1の平面図である。

【図2】図1のロボットハンドの内部に配置されたアクチュエータの配置構成を示す図である。

【図3A】ステップ状の入力指令をモータに与えて関節角度の応答特性を測った結果の一例を示す図である。

【図3B】ステップ状の入力指令をモータに与えて関節角度の応答特性を測った結果の一例を示す図である。

【図3C】ステップ状の入力指令をモータに与えて関節角度の応答特性を測った結果の一例を示す図である。

【図4】指令電圧と関節角速度の関係を示す図である。

【図5】サイン波入力に対する追従性能を示す図である。

【図 6】サイン FM 変調波入力に対する追従性能を示す図である。

【図 7】遠隔指令装置として使用するデータグローブの一例の概略構成を示す図である。

【図 8】多指ロボットハンドの制御装置及び本発明の駆動方法を実施する装置の一例の概略構成を示す図である。

【図 9】図 8 の対応関係決定手段の主要部をコンピュータを用いて実現する場合に用いるソフトウェアのアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図 10】第 1 乃至第 3 のステップをコンピュータを用いて実現する場合に用いるソフトウェアのアルゴリズムを示す図である。

【図 11】第 1 乃至第 3 のステップを説明するたに用いる図である。

【図 12】第 4 及び第 5 のステップをコンピュータを用いて実現する場合に用いるソフトウェアのアルゴリズムを示す図である。

【図 13】高次局所自己相関特徴のための局所パターンの例を示す図である。

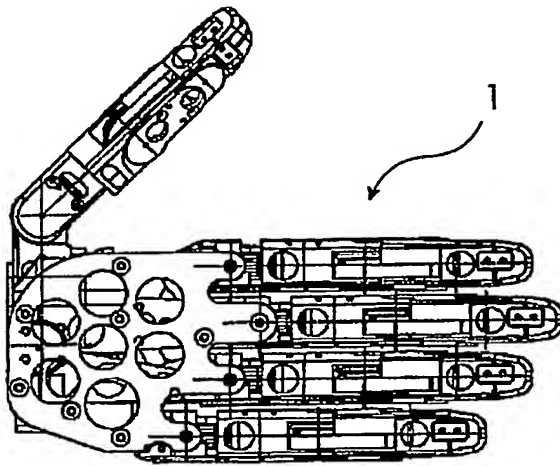
【符号の説明】

【0 0 6 5】

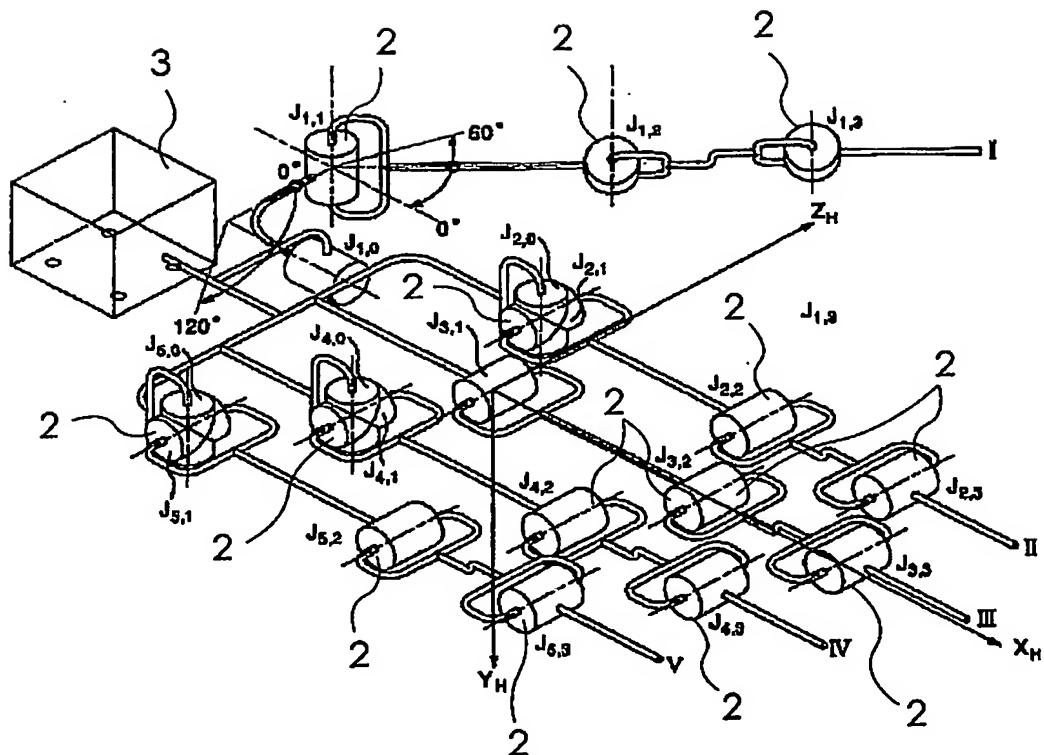
- 1 多指ロボットハンド
- 2 アクチュエータ
- 3 駆動装置
- 4 データグローブ
- 5 センサ
- 6 対応関係決定手段
- 7 制御信号発生手段
- 6 1 時系列関節角度パターン記憶手段
- 6 2 サンプルング手段
- 6 3 偏回帰係数導出手段
- 6 4 重回帰式決定手段
- 8 事前収集動作指令記憶装置
- 9 カメラ
- 1 0 画像データ記憶装置
- 1 1 画像対応動作指令記憶手段
- 1 2 カメラ
- 1 3 ロボット動作用画像データ記憶装置
- 1 4 画像データ特定及び動作指令発生装置

【書類名】 図面

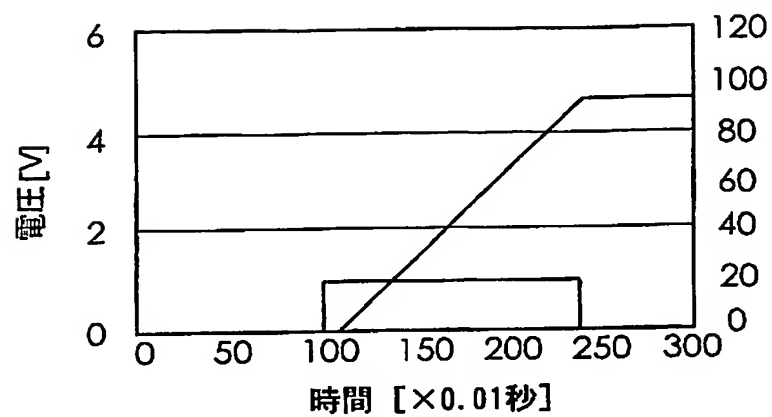
【図 1】



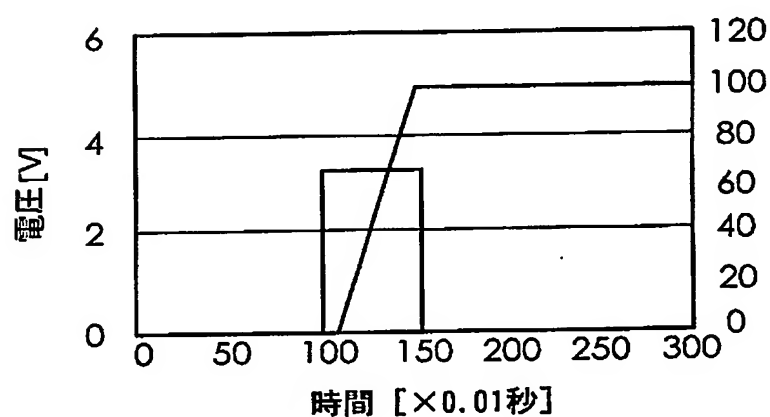
【図 2】



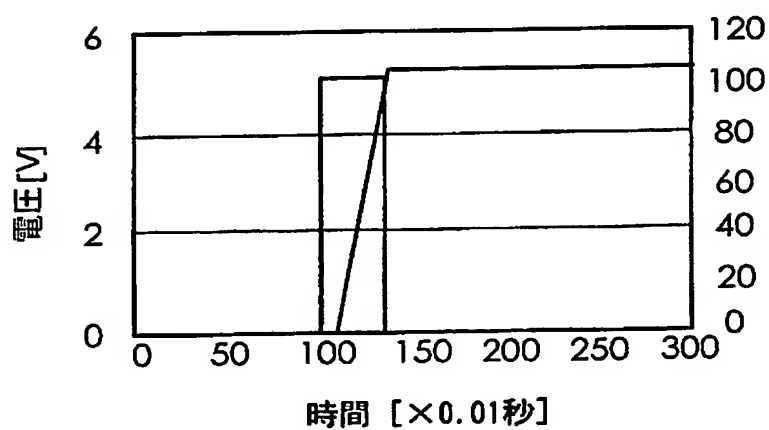
【図 3 A】



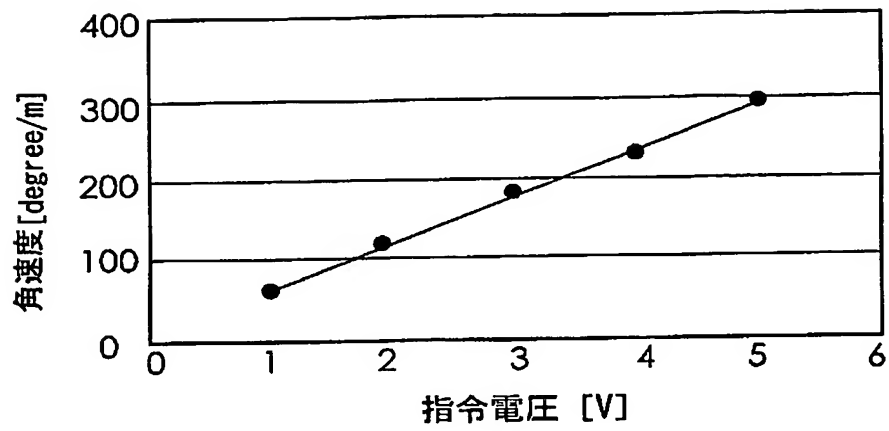
【図 3 B】



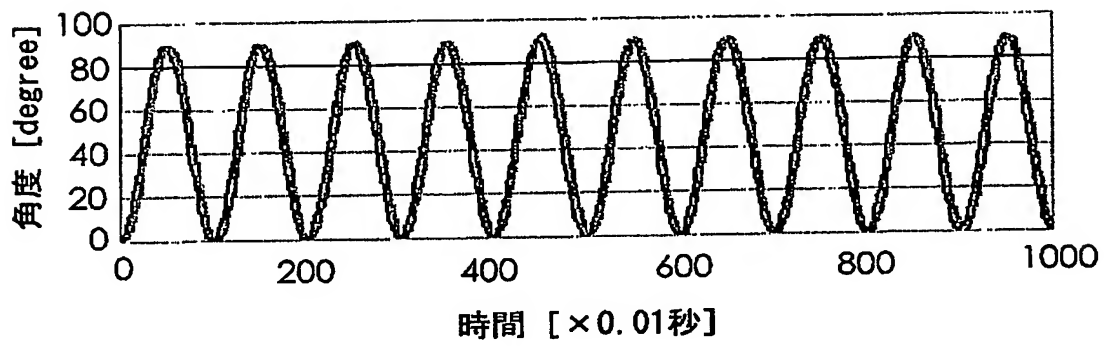
【図 3 C】



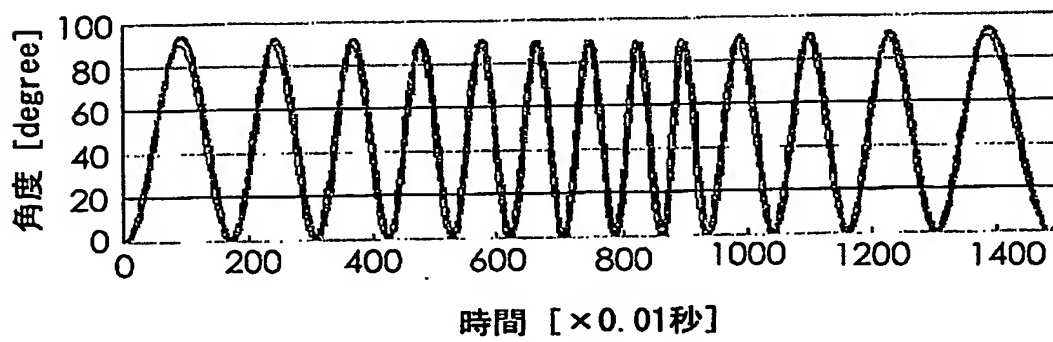
【図 4】



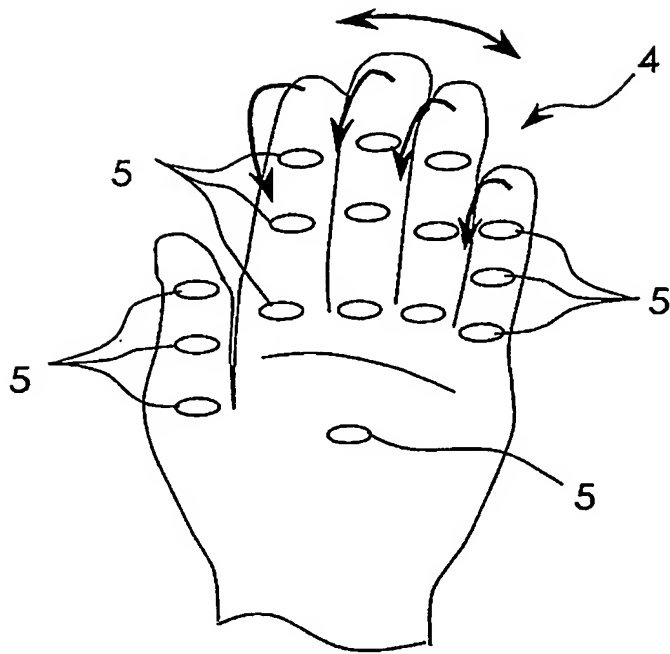
【図 5】



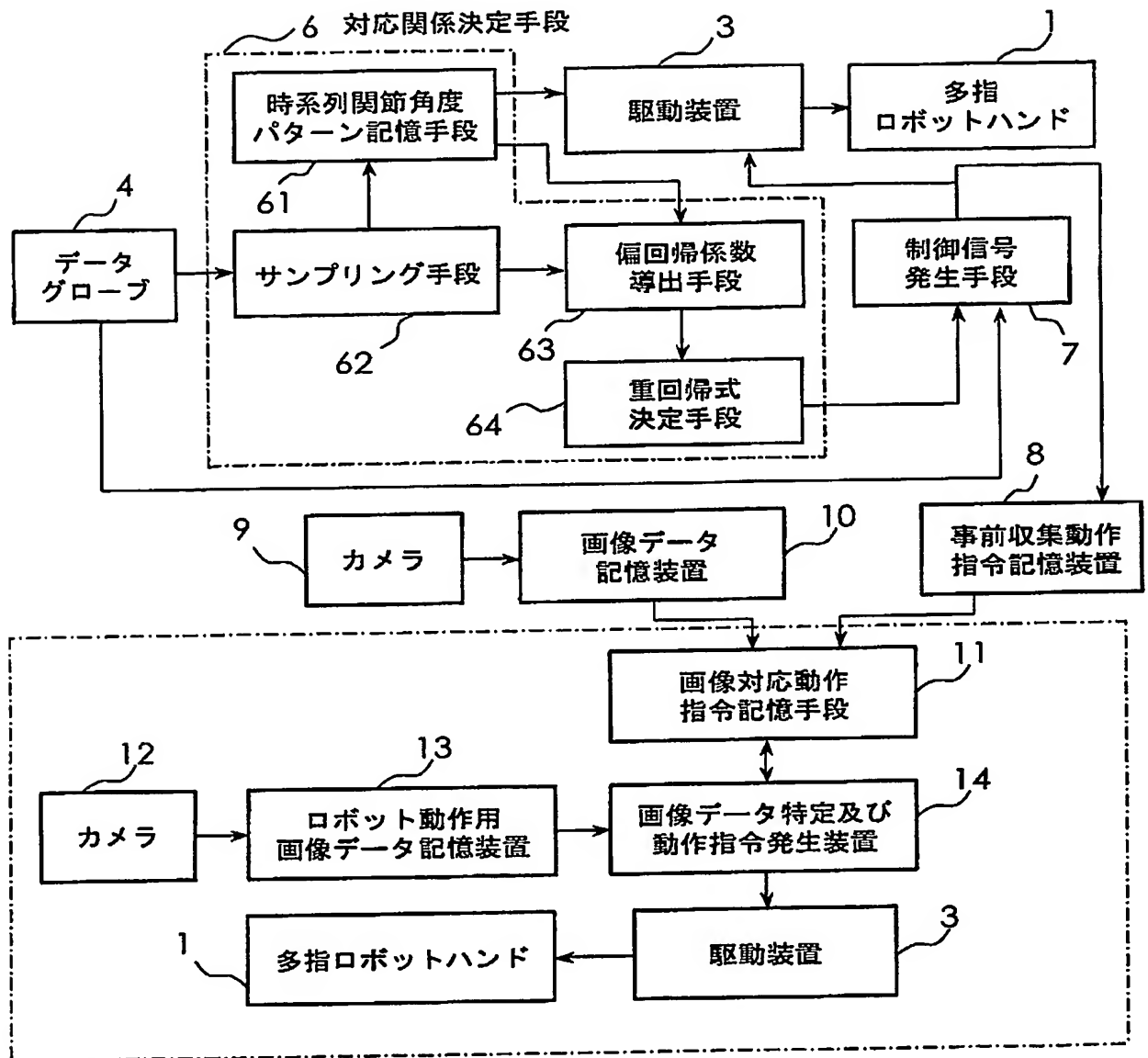
【図 6】



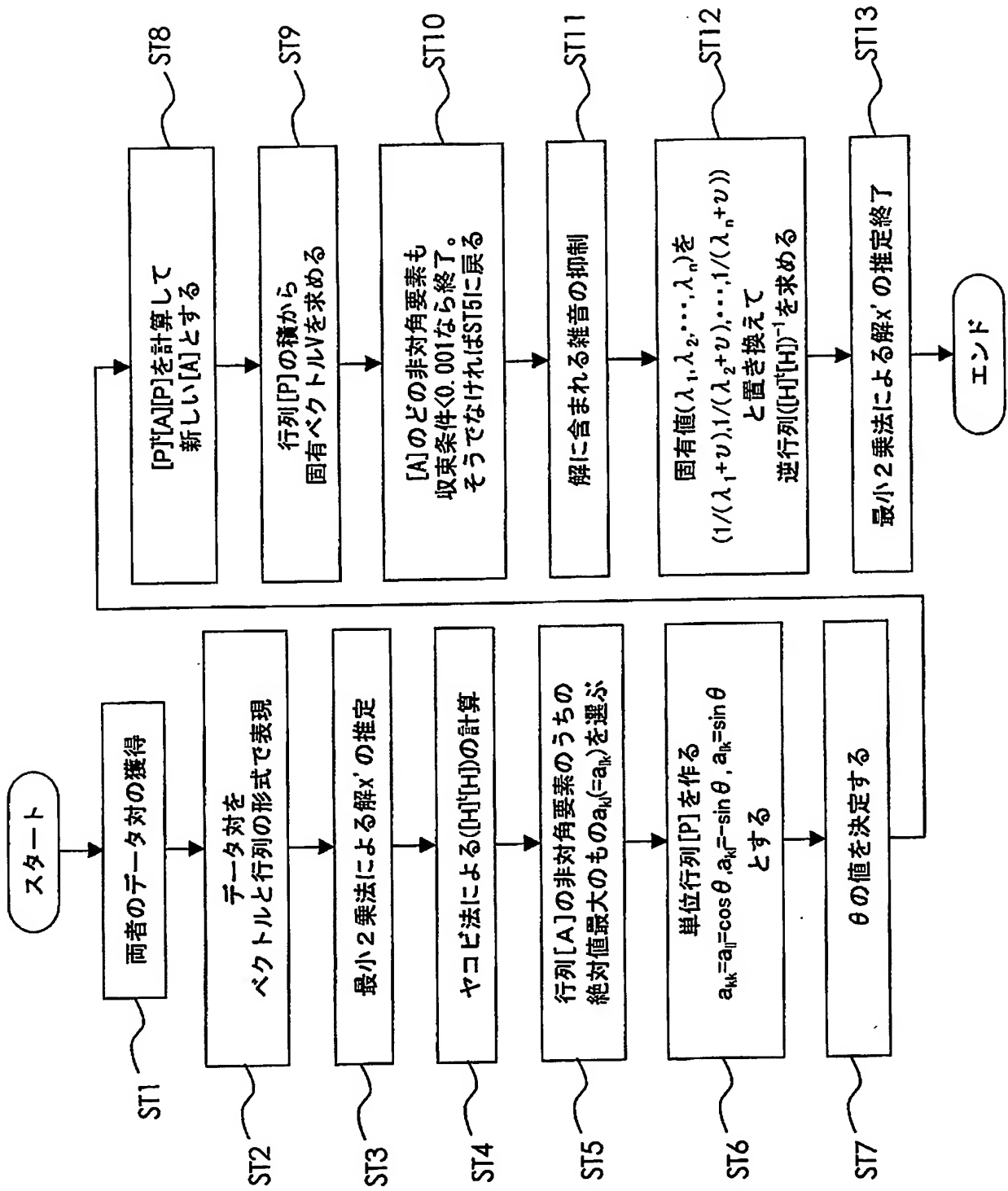
【図 7】



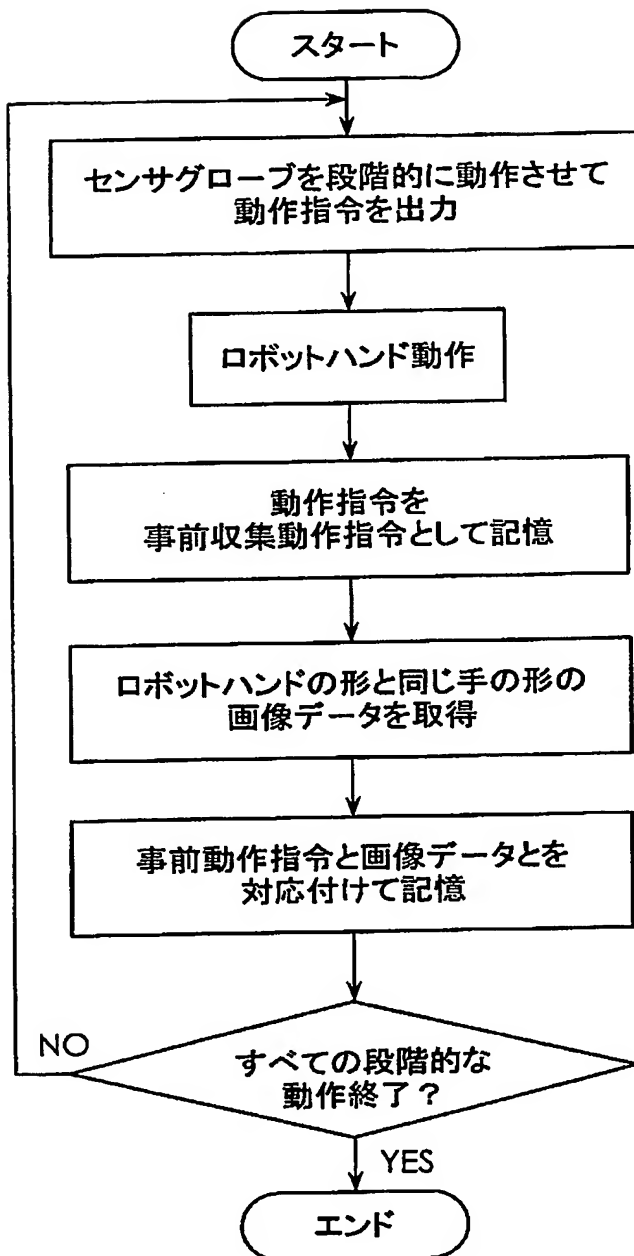
【図 8】



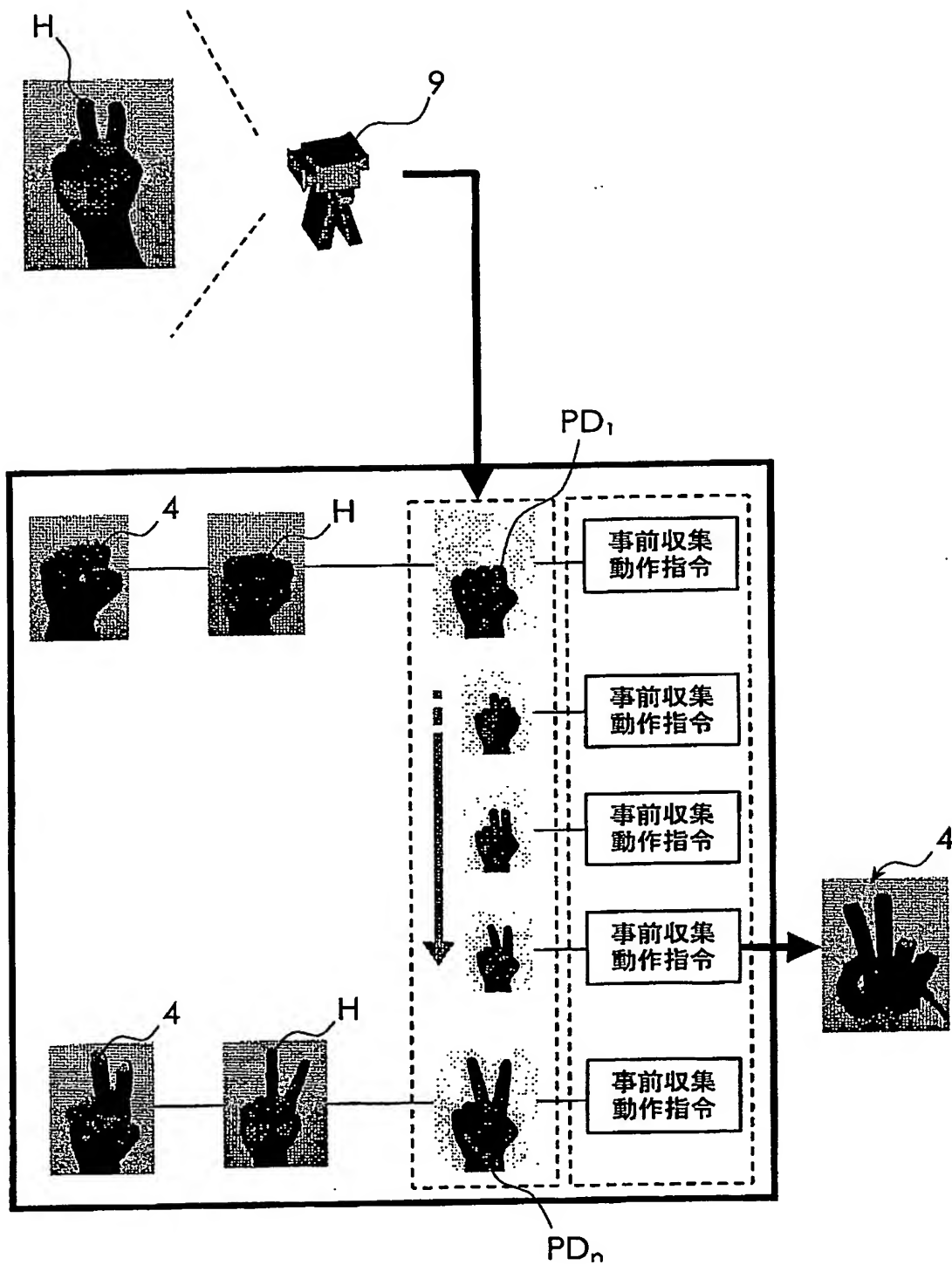
【図 9】



【図 10】

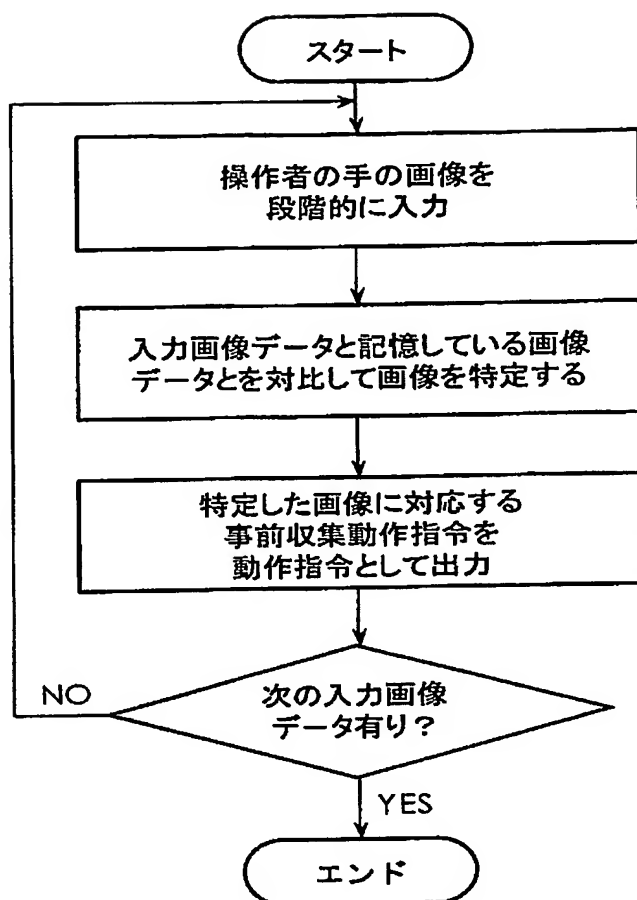


【図 11】

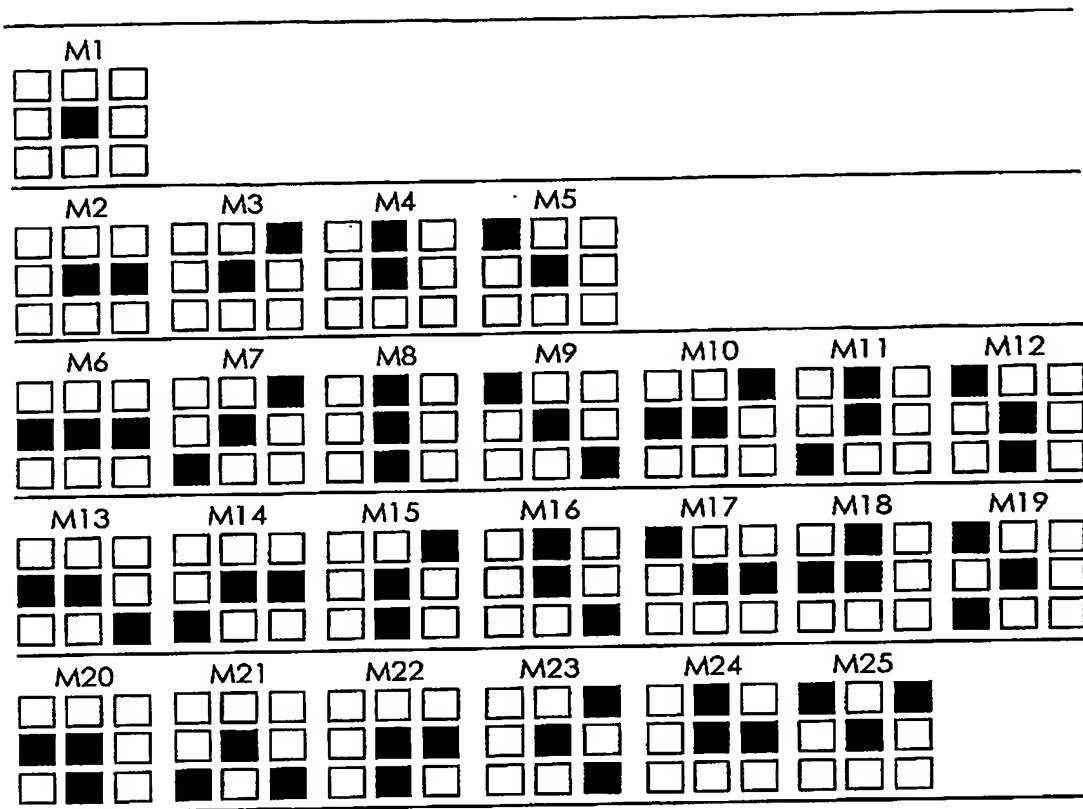


BEST AVAILABLE COPY

【図 12】



【図 13】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 見まね学習により不良設定性を解消してロボットを駆動する方法を提供することにある。

【解決手段】 ロボットの複数の画像データと事前収集動作指令とを対応付けて画像対応動作指令記憶手段 11 に記憶する。ロボットを動作させるために、動作物に所望の動作を行わせ、その際に動作物の画像データを時系列でロボット動作用画像データとして取得する。画像データ特定及び動作指令発生装置 14 は、ロボット動作用画像データに含まれる画像データに対応する画像データを画像対応動作指令記憶手段 11 に記憶している複数の画像データから時系列で特定し、特定した画像データに対応する事前収集動作指令を動作指令としてロボットに与えてロボットを駆動する。これによりロボットは、見まね学習により不良設定性を解消して動作する。

【選択図】 図 8

特願 2 0 0 3 - 3 8 4 4 0 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [5 0 3 3 6 0 1 1 5]

- | | |
|----------|-----------------------|
| 1. 変更年月日 | 2 0 0 3 年 1 0 月 1 日 |
| [変更理由] | 新規登録 |
| 住 所 | 埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号 |
| 氏 名 | 独立行政法人 科学技術振興機構 |
| | |
| 2. 変更年月日 | 2 0 0 4 年 4 月 1 日 |
| [変更理由] | 名称変更 |
| 住 所 | 埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号 |
| 氏 名 | 独立行政法人科学技術振興機構 |